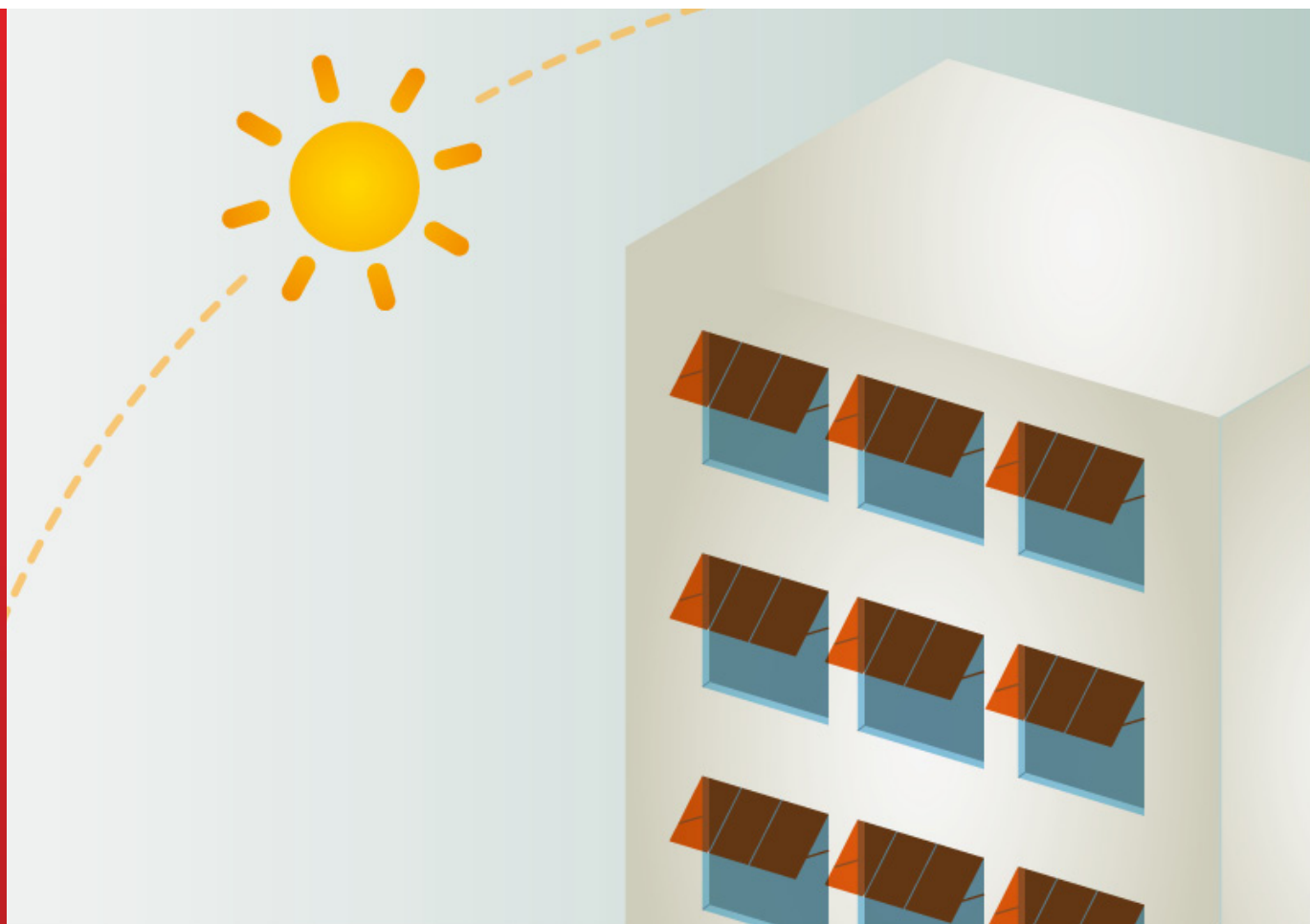


QUAL **E**NERGIA.it

SPECIALE TECNICO



Le schermature solari: tipologie e criteri di funzionamento

A cura di Massimiliano Nastri

MAGGIO 2015

Le schermature solari: tipologie e criteri di funzionamento

Lo Speciale esamina i contenuti tipologici, funzionali e tecnico-esecutivi riferiti ai dispositivi rivolti al controllo ambientale (di carattere “selettivo”), alla regolazione e alla calibrazione della radiazione solare, secondo la realizzazione esterna rispetto ai sistemi di facciata e ai serramenti.

Vengono considerate le principali tipologie di schermature solari in forma fissa o ad assetto variabile, orizzontali, verticali o composte, analizzate attraverso le modalità di esecuzione e di funzionamento: questo rilevando le procedure di riflessione,

di captazione e di diffusione delle sollecitazioni luminose esterne secondo la specifica costituzione fisica, materiale o combinata (ad esempio, attraverso l’“ibridazione” tramite le superfici fotovoltaiche).

La spiegazione dei sistemi e degli elementi di schermatura, fondata anche sugli esiti e sulle proposte della produzione contemporanea, si svolge in relazione all’attuale scenario di carattere legislativo e attuativo, esplicitando le condizioni di programmazione all’interno del percorso progettuale, applicativo e gestionale.

L'AUTORE



Prof. Massimiliano Nistri (Politecnico di Milano)

Ricercatore in *Tecnologia dell'Architettura* e Docente presso il Politecnico di Milano dal 2005. Dottore di ricerca in *Innovazione tecnica e progetto nell'architettura* (1999), consegue l'Assegno di ricerca (1999-2000) e il Post-Dottorato di ricerca (2000-2002).

Svolge attività didattica (dall'a. a. 1998-1999) all'interno dei Corsi di Studio in Scienze dell'Architettura e in Architettura e Produzione Edilizia, presso la Scuola di Architettura e Società del Politecnico di Milano, e attività di ricerca (dal 1994) rispetto alla elaborazione tecnico-esecutiva del progetto di architettura e allo studio dei sistemi di involucro e di rivestimento, di tipo evoluto e sperimentale. Svolge attività di consulenza scientifica e operativa sia per la progettazione integrale e per la riqualificazione tecnologica dell'edilizia diffusa, sia per la progettazione e la costruzione dei sistemi di facciata (come *envelope consultant*).

Scrive i libri *Introduzione al design vibro-acustico* (Angeli, 1997; tradotto e pubblicato in greco), *Technites. Elaborazioni didattiche sul progetto esecutivo* (Maggioli, Santarcangelo di Romagna - RN, 2008), *Involucro e architettura* (Maggioli, Santarcangelo di Romagna - RN, 2008), *Téchne e progetto esecutivo* (Maggioli, Santarcangelo di Romagna - RN, 2008), *La costruzione dell'architettura. Strumenti e procedure operative per l'elaborazione tecnica del progetto* (FrancoAngeli, Milano, 2009) e *La realtà del progetto. Orientamenti metodologici ed euristici per la "modellazione", il "disvelamento" e la formulazione tecnica dell'architettura sperimentale* (Maggioli, Santarcangelo di Romagna - RN, 2009).

Scrive i saggi *La progettazione esecutiva nello scenario edilizio contemporaneo* e *Progetto esecutivo e tecniche costruttive evolute* (in Anna Mangiarotti, *Lezioni di progettazione esecutiva*, Maggioli, 1998, pp. 17-23; pp. 79-124), *Progettazione esecutiva e organizzazione del cantiere* (in Adalberto Dal Lago, a cura di, *Progettare e costruire nel XXI secolo*, Abitare Segesta, 2000, pp. 142-157), *Involucro e controllo dei fattori ambientali* (in Giuliano Dall'Ò, a cura di, *Gli impianti nell'architettura e nel restauro*, Utet, 2003, pp. 21-45), *I sistemi di facciata e Gli elementi di chiusura trasparenti e opachi* (in Renato Suzzani, a cura di, *Manuale del serramentista in alluminio*, Tecniche Nuove, 2008, pp. 47-99; pp. 131-178). Scrive articoli (dal 1996) sulle riviste *Progettare*, *Il Nuovo Cantiere*, *Serramenti+Design*, *Modulo*, *Costruzioni due*, sulla rivista inglese *International Construction* e sulla rivista greca *ERGOTAXIAKA QEMATA*.

INDICE

Introduzione

1. L'articolazione funzionale e tecnico-esecutiva delle schermature solari

1.1. L'interazione con l'espressione architettonica e funzionale	8
1.2. L'elaborazione e l'applicazione all'interno dello scenario attuativo e operativo contemporaneo	10
1.3. L'elaborazione ambientale e interattiva verso le condizioni geografiche e climatiche	11

2. La determinazione tipologica delle schermature solari

2.1. La definizione tipologica e l'analisi dei parametri fisici	12
2.2. Le condizioni di assetto e di regolazione	13

3. L'applicazione e la costituzione geometrica, fisica e prestazionale

3.1. L'installazione esterna alle superfici finestrate	14
3.2. L'installazione interna alle superfici finestrate	25
3.3. L'installazione integrata alle superfici finestrate	27
3.4. L'installazione combinata ai moduli fotovoltaici	30
3.5. La calibrazione esecutiva e la regolazione funzionale	32

4. L'analisi delle condizioni attuative e regolamentari

4.1. Le procedure relative alla legislazione energetica	34
4.2. Le procedure relative alla detrazione fiscale	36

<i>Note</i>	37
-------------	----

<i>Riferimenti bibliografici</i>	39
----------------------------------	----

1. L'articolazione funzionale e tecnico-esecutiva delle schermature solari

1.1. L'interazione con l'espressione architettonica e funzionale

L'elaborazione, la produzione e l'esecuzione dei dispositivi funzionali combinati alle superfici finestate dell'involucro edilizio (per i serramenti e per i sistemi di facciata) assume, nello scenario contemporaneo, le metodologie e i procedimenti correlati sia alla progettazione ambientale ed ergonomica degli spazi interni, sia alla calibrazione energetica e al contenimento dei consumi dovuti agli impianti tecnici. Allo stesso tempo, i dispositivi funzionali combinati alle superfici finestate partecipano alla composizione morfotipologica complessiva dell'architettura, secondo l'applicazione e l'espressione delle "apparecchiature" capaci di regolare l'incidenza dell'irraggiamento solare e le condizioni luminose.

I dispositivi funzionali, nella forma delle schermature solari, sono definiti secondo i principi de:

- la mediazione tra la trasmissione luminosa e la conduzione termica (senza incidere sulla trasparenza);
- il controllo della radiazione solare incidente (mediante l'uso dei dispositivi schermanti o dei rivestimenti selettivi);
- la regolazione delle condizioni ergonomiche ed energetiche, secondo la riflessione, la captazione e la diffusione degli stimoli ambientali esterni, comportando
 - > gli apporti rispetto alle condizioni di "guadagno solare" (solar gain) e alla riduzione delle perdite termiche (dovute alla elevata conduttività e al basso valore dell'inerzia termica degli involucri con chiusure in vetro), in accordo alle modalità di regolazione della luce naturale e di surriscaldamento delle facciate;
 - > le modalità di regolazione della trasparenza, anche nel caso della trasmissione dell'incidenza luminosa diffusa.

All'interno di questo ambito si sviluppa l'elaborazione di dispositivi che trasformano le superfici edilizie in "apparecchi di luce" o in "schermi d'ombra", divenendo materiali al pari di altri componenti della costruzione e dell'espressione architettonica esterna: la messa a punto delle intelaiature e dei dispositivi di calibrazione luminosa si definisce anche nella ricerca di un linguaggio che, necessariamente, diventa differenziato nelle parti, formato da idiomi composti e governato da una sintassi in continua mutazione. L'applicazione delle schermature solari, allora, si delinea rispetto a:

- i criteri di elaborazione rivolti al controllo ambientale di tipo "selettivo";
- le modalità di regolazione "dinamica" dei flussi radianti energetici;
- le procedure di conversione delle sollecitazioni luminose secondo processi di interazione *ecoeficiente*, affermando la capacità protettiva e reattiva dei dispositivi funzionali.

Lo studio delle schermature solari si concreta all'interno dei sistemi di involucro multistrato (nella forma delle cosiddette *multiple-skin façades*), determinati secondo l'acquisizione e la trasformazione delle sollecitazioni ambientali esterne, sulla base de:

- la definizione di procedimenti progettuali e operativi caratterizzati da una elevata flessibilità nell'adozione di tecniche esecutive, di elementi tecnici e di materiali per perseguire l'obiettivo di adeguare funzionalmente e di costituire l'efficienza fisico-tecnica complessiva dell'edificio o di alcune sue parti;
- l'individuazione di criteri e di strumenti per guidare la progettazione e l'esecuzione mediante tecniche procedurali e produttive evolute, caratterizzate da modalità operative che consentano di effettuare scelte precise secondo gli interventi di adeguamento funzionale necessari a realizzare i livelli qualitativi stabiliti.

L'impiego funzionale e compositivo delle schermature solari applicate alle superfici finestrate si riferisce ad architetture in cui l'attenzione alle risorse e alle sollecitazioni esterne diviene un fattore che imprime forma all'edificio, raggiungendo una certa efficacia non solo dal punto di vista energetico o del comfort ambientale, ma anche dal punto di vista estetico. E, in modo integrato, si fa riferimento ad architetture in cui l'aspetto estetico è definito dall'applicazione di tecniche avanzate o dall'impiego aggiornato di materiali tradizionali (senza ricadere nel funzionalismo meccanicistico) e ad architetture che affidano all'involucro, oltre che nuove valenze espressive, l'incremento e la selezione dei livelli prestazionali richiesti.

L'applicazione delle schermature solari comporta le procedure di connessione basate sull'ausilio delle intelaiature e degli elementi di giunzione strutturale in grado di combinare e di concentrare le molteplici e specifiche funzioni di calibrazione luminosa, mediante l'assemblaggio (meccanico) degli elementi tecnici: ovvero, per mezzo delle modalità di montaggio a secco degli apparati in grado di convogliare, deviare, riflettere o attenuare l'incidenza luminosa, che si configura quale strategia progettuale ed esecutiva necessaria ad affrontare in modo coerente la prassi costruttiva rivolta all'adozione di semilavorati, semicomponenti e materiali da combinare alle superfici finestrate.

Le procedure di costruzione per intelaiature e giunzioni meccaniche assumono, per le schermature solari, il paradigma dell'"adattabilità", riferito al grado di variabilità degli elementi tecnici e proporzionale al loro grado di libertà di aggregazione. A tale proposito, lo studio delle schermature solari prevede la determinazione dei contenuti e dei processi di elaborazione (di carattere produttivo, espressivo, strutturale, funzionale ed esecutivo) da dirigere verso l'identificazione, la scelta e la conformità rispetto alle situazioni specifiche (riferite all'ambiente esterno e interno, alla tipologia edilizia e strutturale, alla destinazione d'uso, alle esigenze di ordine formale e prestazionale). Questo considerando:

- l'analisi della sezione costruttiva delle chiusure verticali perimetrali, rivolta a esaminare la consistenza fisica e meccanica delle sezioni di interfaccia per la connessione dei supporti o delle intelaiature;
- l'articolazione e l'offerta delle soluzioni di interfaccia, con l'obiettivo di coordinare i risultati della produzione e della sperimentazione contemporanea con la versatilità e le potenzialità riferite alla loro applicazione;
- la definizione delle procedure connettive e relazionali, delle logiche di aggregazione tra proprietà appartenenti a sezioni specifiche, delle correlazioni formali, fisiche e costruttive.

Su queste basi, lo studio intorno alle schermature solari si compone secondo le condizioni, gli stimoli e le offerte derivanti dalla diffusa "apertura tecnica" della "componentistica" (già definita dai processi di *components approach* o *componenting*, con l'impiego di "regole aggregative" per l'assemblaggio dei "pezzi"), che individua un ambito caratterizzato sia dalla molteplicità delle combinazioni, sia dalle sinergie tra elementi tecnici e materiali di diversa origine produttiva: questo, sostenendo i criteri di relazione "flessibile" tra i contenuti riferiti agli elementi strutturali e di chiusura, ai dispositivi di connessione e funzionali, fino ai modi di assemblaggio (in accordo alle prestazioni ambientali e tecnologiche che si desiderano esaminare e ottenere).

1.2. L'elaborazione e l'applicazione all'interno dello scenario attuativo e operativo contemporaneo

L'elaborazione progettuale architettonica, in generale, e delle schermature solari, in particolare, si relaziona alle procedure dirette alla definizione ambientale, ergonomica ed energetica, in modo correlato alla gestione funzionale degli spazi interni, degli apporti dovuti agli impianti di climatizzazione e del contenimento dei consumi per le esigenze di riscaldamento, di raffrescamento e di illuminazione (1). L'elaborazione progettuale e applicativa delle schermature solari si associa alle modalità di riduzione del carico solare per le superfici dell'involucro trasparente (riferite alle tipologie di serramenti e di sistemi di facciata) unitamente all'incremento del "benessere abitativo".

- I criteri di applicazione delle schermature solari conseguono all'analisi delle valutazioni (oggettive e soggettive) relative alle peculiari condizioni ambientali della località, quali:
- le condizioni climatiche, rispetto al riferimento stabilito dalla latitudine (e, quindi, dall'inclinazione della radiazione solare);
- i caratteri tipologici degli edifici, rispetto al riferimento stabilito dai canoni costruttivi connessi al clima e alla situazione ambientale locale, ovvero nei confronti della disposizione (geometrica, dimensionale e quantitativa) delle aperture all'interno delle chiusure verticali perimetrali;
- i caratteri costruttivi, rispetto alla capacità di accumulo e di dispersione del calore, alla configurazione spaziale e distributiva degli spazi interni che dirigono i flussi d'aria secondo le diverse temperature (2);
- le necessità inerenti ai livelli di illuminazione negli spazi interni e secondo le condizioni di cielo esterne, stagionali e le caratteristiche ottico-luminose delle chiusure trasparenti.

L'elaborazione e l'esecuzione delle schermature solari si rivolge, in generale, a:

- la regolazione degli apporti luminosi generati dalla radiazione solare, contribuendo alla calibrazione delle condizioni di comfort negli spazi interni;
- la diffusione e la distribuzione omogenea degli apporti luminosi generati dalla radiazione solare verso gli spazi interni, secondo l'ausilio dei dispositivi capaci di riflettere e di trasmettere i flussi verso le superfici distanti dalle finestrature perimetrali;
- la riduzione delle condizioni di abbagliamento (presenti, in particolare, durante l'angolazione ridotta della radiazione solare nel periodo invernale), diretto o riflesso dalle superfici riflettenti (come nel caso degli schermi dei videoterminali), in accordo ai contenuti regolamentari (ad esempio, secondo la Direttiva Europea 90/270 acquisita dalla Norma UNI EN 12464-1:2011);
- la chiusura parziale o completa degli spazi interni, rispetto alle esigenze formulate per specifiche destinazioni d'uso (ad esempio, come nel caso dello svolgimento di attività di laboratorio);
- la protezione rispetto agli apporti termici generati dalla radiazione solare (di tipo diretto, diffuso o zenitale), comportando la riduzione dell'incremento della temperatura negli spazi interni;
- la riduzione dei consumi energetici diretti alla climatizzazione durante i periodi a temperatura elevata (influenzando anche sulla messa a punto e sul dimensionamento relativo alla potenza massima degli impianti);
- la riduzione dell'irraggiamento solare durante i periodi a elevata temperatura, per cui l'adozione delle schermature (caratterizzate dal fattore solare g ridotto, ad esempio, pari a 0,20) contribuisce a limitare (per un valore pari a $2/3$) gli apporti solari che possono generare le situazioni di surriscaldamento;
- il contributo all'attenuazione delle dispersioni termiche dei serramenti e dei sistemi di facciata, durante i periodi a temperatura ridotta, mediante l'ausilio dei dispositivi caratterizzati dalla bassa permeabilità all'aria;
- il contributo alla generazione di un'intercapedine ventilata (in forma passiva) secondo l'applicazione all'esterno dei serramenti e dei sistemi di facciata, favorendo la riduzione della temperatura negli spazi interni;

- l'applicazione di chiusure tali da permettere, comunque, il passaggio graduato e parziale della radiazione luminosa, comportando l'applicazione di dispositivi a funzionamento "diaframmatico" ed evitando l'utilizzo di chiusure dirette a determinare la completa opacità delle superfici finestrate;
- l'attenuazione dell'incidenza dovuta alla radiazione ultravioletta, in grado di produrre l'alterazione e la decolorazione superficiale per gli oggetti contenuti negli spazi interni.

L'applicazione delle schermature solari contribuisce anche a incrementare sia gli apporti energetici passivi, sia la resistenza termica delle superfici finestrate durante i periodi a ridotta temperatura: ovvero, le schermature solari, specialmente se di fattura poco impermeabile all'aria, possono generare un'intercapedine in grado di attenuare la dispersione termica attraverso le superfici finestrate, comportando un funzionamento di tipo parietodinamico (in grado di attivare *transfert termici* non solo conduttivi ma anche di massa d'aria).

1.3. L'elaborazione ambientale e interattiva verso le condizioni geografiche e climatiche

Lo studio intorno alle schermature solari si relaziona ai caratteri di "permeabilità" degli elementi di chiusura rispetto alle sollecitazioni termiche, luminose e aeree, determinando i criteri di elaborazione rivolti sia al controllo ambientale di tipo "selettivo", sia a stabilire le tipologie di interazione in modo "dinamico" e quali "filtri ambientali": questo affermando la capacità protettiva e reattiva dei dispositivi schermanti (anche con la regolazione di supporti funzionali, "passivi" o "attivi", fissi o ad assetto variabile) ai cambiamenti delle condizioni climatiche.

In questo senso, lo studio delle schermature solari si collega alle modalità di interazione con i fattori climatici, sostenendo la disamina prioritaria (tesa alla concezione progettuale, funzionale e applicativa) delle condizioni ambientali esterne relative a:

- l'acquisizione delle coordinate geografiche e dei riferimenti climatici del contesto, rispetto a:
 - > il percorso (apparente) del sole e l'altezza sull'orizzonte secondo il contesto specifico (latitudine) e i periodi stagionali, che rilevano i caratteri di intensità e di angolazione della radiazione solare;
 - > l'intensità della radiazione solare secondo l'orientamento e l'inclinazione dei prospetti;
 - > le modalità di radiazione solare, composta in modo diretto e/o indiretto (secondo la radiazione riflessa dalla volta celeste e dall'ambiente circostante), in accordo alle diverse lunghezze d'onda;
 - > la quantità di apporto energetico stimata secondo le condizioni climatiche e il fabbisogno energetico collegato alle destinazioni d'uso;
- la definizione dell'orientamento prospettico, rivolta a esaminare l'incidenza della radiazione solare rispetto al percorso apparente del sole sulla volta celeste nei confronti dei periodi stagionali (e, quindi, la determinazione dell'angolo solare α);
- la valutazione delle eventuali preesistenze nell'intorno edificato o ambientale, al fine di esaminare la generazione di possibili "coni d'ombra" o di abbagliamento;
- la valutazione della radiazione solare, rispetto ai livelli di temperatura media e di trasparenza del cielo (in accordo ai contenuti tabellari espressi dalla Norma UNI EN 10349:1994). Questo come rilevazione dei periodi di differenza termica tra la media delle temperature orarie mensili del contesto rispetto alla temperatura operativa di riferimento per gli spazi interni, oltre la quale si delinea la necessità di schermare la radiazione solare (in generale, pari a 25,5 °C);
- la valutazione delle sollecitazioni eoliche (rispetto al periodo principale di azione, all'intensità e alla direzione), rivolta a esaminare la tipologia fisica, geometrica ed esecutiva;

Si determina, a livello produttivo, progettuale e costruttivo, l'esigenza di definire condizioni operative di equilibrio tra requisiti contrastanti, come:

- la necessità di garantire un apporto energetico positivo durante il periodo invernale, riducendo le dispersioni e provvedendo all'accumulo termico mediante la trasformazione della radiazione solare in calore (secondo fenomeni di inerzia termica);
- la necessità di ridurre il rischio di surriscaldamento durante il periodo estivo;
- la necessità di garantire un adeguato livello di illuminazione naturale (secondo criteri di riflessione, di assorbimento e di diffusione) in modo da ridurre i consumi energetici;
- la necessità di controllare la componente di trasmissione totale dell'irraggiamento solare (con l'attenzione verso la trasmissione delle onde ultraviolette), senza penalizzare la componente di trasmissione nel campo visivo;
- la necessità di controllare le relazioni e le gradazioni percettivo-visive.

La configurazione funzionale, tipologica ed esecutiva, oltre che i contenuti relativi alla disposizione, al dimensionamento e alla composizione materiale, si basano sull'acquisizione dei parametri relativi alle prestazioni energetiche del serramento o del sistema di facciata, quali:

- il valore di trasmittanza termica U_w (3);
- il fattore di trasmissione luminosa τ (4);
- il fattore solare g (5);
- il fattore di luce diurna (Daylight Factor) (6);
- il fattore di apertura (Openness Factor) (7).

2. La determinazione tipologica delle schermature solari

2.1. La definizione tipologica e l'analisi dei parametri fisici

La determinazione tipologica, dimensionale, materiale e funzionale delle schermature solari si correla alle condizioni climatiche e alla radiazione solare incidente di tipo diretto, diffuso e riflesso nei confronti della superficie vetrata, considerando:

- i caratteri tipologici e geometrici, relativi a:
 - > la disposizione di superfici schermanti continue opache, rivolte a interrompere la radiazione solare e luminosa di tipo diretto e diffuso, comportando la diminuzione della ventilazione naturale e la visibilità verso l'esterno;
 - > la disposizione di superfici filtranti, rivolte a interrompere la radiazione solare e luminosa di tipo diffuso e a intervenire parzialmente sulla radiazione solare e luminosa di tipo diretto;
 - > la disposizione degli elementi a segmenti orientabili o a lamelle, rivolte a interrompere la radiazione solare e luminosa di tipo diretto e diffuso e a gestirle in forma complessiva;

- > la disposizione degli elementi a segmenti fissi, rivolti a interrompere la radiazione solare e luminosa di tipo diretto e a intervenire parzialmente sulla radiazione solare e luminosa di tipo diffuso e riflesso;
- la definizione del *fattore solare g o del coefficiente solare*, comportando:
 - > la valutazione delle condizioni di equilibrio prestazionale e, quindi, ambientale rispetto ai principali periodi stagionali (ovvero, ad esempio, l'adozione di un ridotto valore del fattore solare g risulta efficace durante i periodi a elevata incidenza solare ma genera un decremento funzionale nell'acquisizione dell'apporto solare passivo durante i periodi a ridotta incidenza solare), esaminando i parametri definiti sulla base della costituzione tipologica, materiale e della colorazione superficiale;
- la definizione del *fattore di trasmissione luminosa totale τ_{tot} e del fattore di luce diurna (Daylight Factor)*, comportando (in seguito all'applicazione della schermatura solare):
 - > la riduzione del *fattore di trasmissione luminosa* principalmente rispetto alla componente della radiazione solare diretta, ma anche rispetto alle componenti di tipo diffuso e riflesso (verso le quali le superfici vetrate solari o selettive agiscono in modo poco efficace);
 - > la calibrazione della quantità di superficie aperta (nel caso dei dispositivi di tipo continuo e filtrante), al fine di favorire la trasmissione della luminosità naturale in assenza di fenomeni di abbagliamento (comportando l'utilizzo di superfici con una quantità aperta ridotta nell'esposizione prospettica a sud, ovvero pari circa al 5%, e con una quantità aperta superiore nell'esposizione a nord, ovvero pari circa al 10%);
 - > la calibrazione del colore, al fine di favorire la trasmissione della luminosità naturale di tipo diffuso;
 - > la verifica del *fattore di luce diurna (Daylight Factor)*, attraverso la rilevazione dei valori fotometrici mediante la simulazione degli spazi interni e il confronto con la rilevazione strumentale dell'intensità luminosa (considerando come parametro la situazione di "cielo coperto"). L'analisi permette di prevenire le condizioni dovute agli eccessi di luminosità naturale e di distribuire correttamente gli specifici luoghi di lavoro.

2.2. Le condizioni di assetto e di regolazione

Il funzionamento delle schermature solari si delinea, secondo le modalità di azione nei confronti della radiazione e delle esigenze di luminosità negli spazi interni, rispetto a:

- i dispositivi "attivi", che permettono di variare il rapporto tra la radiazione solare incidente e la radiazione solare trasmessa in accordo alla mutazione dell'angolo solare α , producendo l'aumento o la diminuzione della superficie schermante o la relazione tra la superficie opaca e la superficie aperta. Questo sostenendo l'impiego della tipologia "attiva" soprattutto nel caso di discrete variazioni dell'angolo solare α o della necessità di un controllo puntuale delle superfici finestrate;
- i dispositivi "passivi" (ovvero fissi), che riguardano le situazioni di stabilità della radiazione solare durante i diversi periodi stagionali o di necessità della schermatura per uno specifico periodo;
- i dispositivi "dinamici", che permettono di variare secondo modalità automatiche o programmate le porzioni di superficie schermante rispetto alle superfici finestrate.

Le schermature "attive" o "dinamiche" comportano l'ausilio dei dispositivi di automazione per gestire l'azionamento e la regolazione, attraverso:

- l'impiego di un attuatore elettromeccanico (ovvero, il motore), funzionante in tensione di rete o in corrente continua (a 24 V), supportato dalla dotazione dei sistemi di controllo capaci di attivare gli elementi schermanti secondo le condizioni ambientali impostate;
- l'impiego dei controlli di funzione finalizzati sia al posizionamento automatico degli elementi

schermanti secondo determinate condizioni climatiche, ambientali e temporali, sia all'orientamento stabilito degli elementi (ad esempio, di tipologia lamellare).

I controlli di funzione, come spiega Sergio Fabio Brivio (2010, p. 182), possono essere gestiti per mezzo de:

- gli interruttori fissi o radio;
- i comandi a distanza mediante i ricevitori e i trasmettitori a infrarossi o in radiofrequenza;
- le centraline di comando centralizzato e di gruppo;
- il comando di sollevamento e di abbassamento (ad esempio, del dispositivo a tenda) rispetto al livello dell'intensità rilevato da un sensore;
- il comando di sollevamento e di abbassamento (ad esempio, del dispositivo a tenda) rispetto alle esigenze di sicurezza nei confronti delle sollecitazioni eoliche e delle acque meteoriche;
- la regolazione dell'orientamento (ad esempio, nel caso della tipologia lamellare) rispetto al livello della luminosità interna impostato;
- un protocollo remoto (via telefono GSM, computer connesso in rete, moduli wireless).

Le installazioni multiple, caratterizzate da diversi livelli di schermature da comandare in remoto, necessitano della centralizzazione dei controlli: questo attraverso l'ausilio di radiocomandi con canale comune in grado di attivare tutti i dispositivi schermanti sotto tensione. In particolare, la funzione di controllo prevede:

- le procedure di azionamento automatico dell'apertura e della chiusura degli elementi rispetto determinati orari;
- le procedure di controllo anemometrico, rivolte ad attivare gli elementi nel caso di situazioni di elevata sollecitazione eolica impostate (ovvero, mediante la taratura del sensore nei confronti della velocità eolica media del contesto);
- le procedure di controllo luminoso, rivolte ad attivare gli elementi secondo l'ausilio dei sensori tarati rispetto ai livelli fotometrici impostati (ovvero, composti in forma crepuscolare o solare, tale da inviare un segnale di attivazione conseguente a una soglia di luminosità, e in forma digitale, tale da rilevare la luminosità incidente e da inviarla alla centralina di controllo che governa l'azionamento della schermatura).

3. L'applicazione e la costituzione geometrica, fisica e prestazionale

3.1. L'installazione esterna alle superfici finestrate

L'installazione esterna provvede alla realizzazione della barriera frontale rispetto alla superficie vetrata e alla dissipazione dell'energia termica assorbita, comportando:

- le condizioni di criticità dovute alla costruzione e alla gestione, con particolare rilevanza nel caso degli edifici a sviluppo in altezza;
- l'efficacia nei confronti della radiazione solare diretta e diffusa;

- la determinazione del *fattore solare* g variabile (in generale, compreso tra $0,10 \div 0,25$), in funzione della costituzione materiale della schermatura e della superficie vetrata.

Nel caso dell'installazione nel tipo "in proiezione", si rilevano:

- l'efficacia nei confronti della radiazione solare diretta, rispetto all'angolazione solare;
- il decremento funzionale nei confronti della radiazione solare diffusa.

I dispositivi esterni sono applicati per mezzo o senza l'apporto della struttura portante (in forma di telaio o per giunzioni puntiformi). L'articolazione tipologica osserva:

- la costituzione dei dispositivi frangisole zenitali "passivi" (ovvero fissi), che producono le sezioni d'ombra verso gli spazi sottostanti (in posizione apparente alta del sole sulla volta celeste), composti da:
 - > gli elementi a doghe o a lamelle (di diversa composizione materiale, ad esempio, in calcestruzzo, legno, metallo e vetro) inclinate secondo l'angolo stabilito: questo è rivolto a intercettare la radiazione solare incidente durante i periodi a temperatura elevata, permettendo, invece, la trasmissione alla radiazione solare durante i periodi a temperatura ridotta (figg. 1-3);
- la costituzione dei dispositivi frangisole verticali e orizzontali "passivi" (ovvero fissi), che produ-



1. Installazione esterna fissa: dispositivi frangisole zenitali "passivi". Il funzionamento comporta la riduzione della radiazione solare secondo la proiezione zenitale tramite la disposizione (reticolare o lineare) degli elementi collocati in senso orizzontale. (produzione Naco)



2. Installazione esterna fissa: dispositivi frangisole zenitali "passivi". Le schermature e i diffusori solari determinano il controllo "selettivo" dei flussi radianti, secondo la riflessione, la captazione e la diffusione delle sollecitazioni luminose. (produzione Naco)



3. Installazione esterna fissa: dispositivi frangisole zenitali "passivi". La realizzazione della schermatura in aggetto dispone una loggia rivolta a configurare un settore diaframmatico sia spaziale sia visivo. (Rogers Stirk Harbour + Partners e DA Studio, Centro Civico, Scandicci)

cono le sezioni d'ombra verso gli spazi interni paralleli (in posizione inclinata rispetto all'angolo solare α prevalente del contesto), composti da:

- > gli elementi a doghe o a pale preorientate (di diversa composizione materiale, ad esempio, in legno, metallo e vetro) applicate in senso verticale e alla distanza reciproca inferiore alla dimensione degli elementi stessi (figg. 4-10);



4. Installazione esterna fissa: dispositivi frangisole verticali "passivi". Il funzionamento delle schermature comporta la riduzione della radiazione solare per riflessione, attraverso l'ausilio o l'assenza dell'intelaiatura di supporto agli elementi schermanti, realizzati alla distanza finalizzata a intercettare i raggi incidenti rispetto all'angolo solare. (sistema Shadometal, produzione Colt International)



5. Installazione esterna fissa: dispositivi frangisole verticali "passivi". La schermatura esterna si delinea quale sistema di controllo solare discontinuo, costituito da lamelle verticali fisse (ad esempio, in cotto) a giacitura parallela rispetto alla facciata con differente orditura (per l'inclinazione di 45° e ortogonali rispetto alla superficie trasparente). (Mario Botta e Giancarlo Marzorati, sede della Campari S.p.A., Sesto San Giovanni, Milano)



6. Installazione esterna fissa: dispositivi frangisole verticali "passivi". Le schermature solari sono sostenute, tramite le intelaiature, all'estradosso e all'intradosso, rilevando l'apporto delle mensole lineari dalle quali si prolungano i bracci rivolti al fissaggio dei giunti puntiformi, circolari e regolabili sulla planarità delle lastre. (Nicholas Grimshaw and Partners, UCL Cancer Institute, Londra)



7. Installazione esterna fissa: dispositivi frangisole orizzontali "passivi". La costituzione delle pale schermanti in sagoma ellittica, con profilo circolare passante, prevede il montaggio nella conformazione preassemblata a telaio, fissa oppure mobile. (sistema Bri-se Soleil, produzione Reynaers)



8. Installazione esterna fissa: dispositivi frangisole orizzontali "passivi". Le "apparecchiature" frangisole, in lamiera stirata di alluminio anodizzato naturale assolvono la funzione di diminuire il carico termico dell'edificio. (ITI Studio, scuola "L'Aurora Bachelet", Cernusco sul Naviglio, Milano)



9. Installazione esterna fissa: dispositivi frangisole orizzontali "passivi". L'aggregazione dei dispositivi frangisole in alluminio estruso (di sezione lenticolare, a doppio setto) alle cortine di facciata si dispone secondo la doppia sezione scatolare rispetto all'asse trasversale e la distanza dal prospetto. (Giancarlo Marzorati, Colour Building, Milano)



10. Installazione esterna fissa: dispositivi frangisole orizzontali "passivi". I dispositivi di schermatura (ad esempio, realizzati dai pannelli in lastre di pietra) sono sovrapposti secondo lo sviluppo orizzontale e sono sostenuti dall'intelaiatura lineare con giunti puntiformi di assemblaggio. (Nicholas Grimshaw and Partners, Gresham Street Office Building, Londra)

- la costituzione dei dispositivi orientabili azimutali (in forma “attiva”), che producono le sezioni d’ombra secondo la rotazione diretta a controllare la radiazione solare rispetto al percorso azimutale, producendo la riflessione o la rifrazione verso gli spazi interni, composti da:
 - > gli elementi a pale di sezione ogivale (ad esempio, in alluminio estruso a sezione ogivale) applicate in senso verticale e azionate in modalità meccaniche (manuali o motorizzate) (figg. 11-13);



11. Installazione esterna mobile: dispositivi orientabili azimutali. I dispositivi di controllo solare sono costituiti dalle pale in lamiera pressopiegata di alluminio anodizzato (o preverniciato), aggraffata a un profilo estruso centrale. (sistema Ellipsoid, produzione Naco)

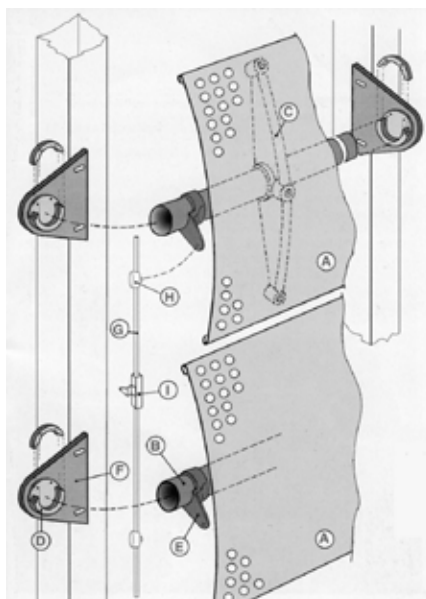


12. Installazione esterna mobile: dispositivi orientabili azimutali. L'applicazione delle schermature esterne orientabili, in forma frangisole azimutale, esamina l'adozione di pale o di stecche regolabili sull'asse verticale al fine di seguire l'angolazione solare. (Aurelio Galfetti, NET Center, Padova)



13. Installazione esterna mobile: dispositivi orientabili azimutali. La formulazione dei frangisole orientabili, realizzati in vetro trattato tramite la serigrafia o-paca colorata (che consente un elevato livello di trasparenza, anche in posizione chiusa), sono orientabili per mezzo del perno di rotazione verticale. (Matthias Sauerbruch e Louisa Hutton, settore "Mac567", Maciachini Center, Milano)

- la costituzione dei dispositivi frangisole orientabili a pale (in forma "attiva"), che producono le sezioni d'ombra secondo la rotazione diretta a controllare la radiazione solare mediante l'esecuzione in senso orizzontale e parallelo nei confronti delle superfici finestrate, producendo la riflessione o la rifrazione verso gli spazi interni, composti da:
 - > gli elementi a pale di sezione ogivale o alare (di diversa composizione materiale, ad esempio, in lamiere metalliche, in alluminio estruso, legno e vetro) applicate in senso orizzontale e azionate in modalità meccaniche (manuali o motorizzate) (figg. 14-17);

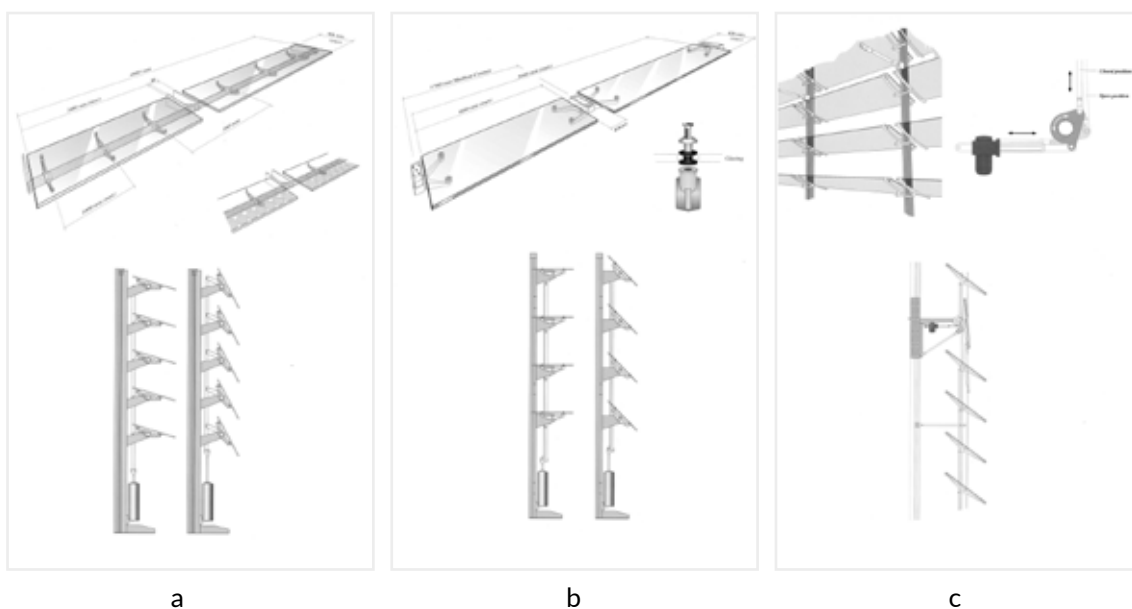


14. Installazione esterna mobile: dispositivi frangisole orientabili a pale.
I dispositivi di controllo solare, costituiti dai profili lamellari in alluminio, sono composti da: A. lama singola in alluminio forata; B. profilo tubolare portante in alluminio; C. supporto in nylon; D. boccola laterale; E. leva di comando; F. mensola; G. asta di collegamento in acciaio inox; H. nottolini in alluminio anodizzato; I. attacco per comando elettrico in acciaio zincato. (sistema Airlux, produzione Naco)



15. Installazione esterna mobile: dispositivi frangisole orientabili a pale.

L'applicazione dei dispositivi lamellari metallici rileva la messa a punto dei componenti realizzati dalle pale ellissoidali in alluminio estruso anodizzato, in lamiera preverniciata e pressopiegata. (produzione Merlo)



16. Installazione esterna mobile: dispositivi frangisole orientabili a pale.

I dispositivi di controllo solare sono costituiti dalle "lame" orizzontali in vetro temperato, applicate rispetto alle facciate continue (a), ai serramenti e le sezioni con molteplici punti di fissaggio (b) alle superfici di elevate dimensioni (c). (sistema Glass Louvre, produzione Colt International)



17. Installazione esterna mobile: dispositivi frangisole orientabili a pale.

La schermatura solare realizzata in microlamelle di alluminio anodizzato, a scomparsa e capace di ombreggiare il piano di facciata, permette di ottenere condizioni di trasparenza e di diffusione dell'incidenza luminosa. (sistema CTB, produzione Schüco)

- la costituzione dei dispositivi frangisole a lamelle orientabili (in forma “attiva”), che producono le sezioni d'ombra secondo la rotazione diretta a controllare la radiazione solare rispetto a qualsiasi angolo solare α , composti da:
 - > gli elementi a lamelle, nella tipologia “veneziana” (di diversa composizione materiale, ad esempio, in alluminio o altro metallo, legno) applicate in senso orizzontale e azionate in modalità meccaniche (manuali o motorizzate), con la possibilità di impacchettarsi nella posizione superiore. La configurazione geometrica si svolge secondo la tipologia arcuata (possibilmente provvista delle nervature longitudinali, per l'ampiezza generale compresa tra 50÷80 mm), la tipologia a “Z” (per l'ampiezza generale compresa tra 75÷90 mm), la tipologia a “C” rovesciata (per l'ampiezza generale compresa tra 75÷150 mm);
- la costituzione delle persiane impacchettabili (definite anche come persiane pieghevoli o *folding shutter*), secondo l'esecuzione per segmenti contigui collegati da cerniere, composte da:
 - > i pannelli opachi o perforati (in generale, di composizione metallica, ovvero in lamiera di acciaio stirata), le intelaiature a sostegno di un tessuto filtrante, con fattori di apertura differenti, con la possibilità di impacchettarsi (in modalità meccaniche motorizzate) per sollevamento o per trascinamento laterale per mezzo del sistema di traino inserito nei profili di guida (fig. 18);



18. Installazione esterna mobile: persiane impacchettabili.

Le schermature pieghevoli, operanti su guide verticali parallele al piano di facciata, prevedono la regolazione della radiazione solare tramite il sistema di sollevamento (composto dagli apparati di sospensione e di scorrimento). (Heren 5 Architecten, edificio residenziale, Amsterdam)

- la costituzione delle persiane scorrevoli (in forma “attiva”), composte da:
 - > i pannelli scorrevoli e le intelaiature a sostegno di un tessuto filtrante (in lamelle metalliche fisse o regolabili, di diversa composizione materiale, ad esempio, in alluminio, in reti metalliche stirate, tessuto metallico, lamiera forata, legno), con fattori di apertura differenti, con la possibilità di scorrere (in modalità meccaniche motorizzate) all’interno dei profili di guida (figg. 19, 20);



19. Installazione esterna mobile: persiane scorrevoli.

La determinazione del frangisole scorrevole si delinea rispetto all’applicazione su guide orizzontali e parallele al piano di facciata, comportando, ad esempio, l’ausilio degli elementi lamellari piani o inclinati. (Carlos Ferrater, Torre Aquileia, Jesolo)



20. Installazione esterna mobile: persiane scorrevoli.

Le schermature composte dalla trama dei dispositivi frangisole scorrevoli osservano la costituzione in lamelle orizzontali (ad esempio, di profilati estrusi in alluminio), in parte fisse e in parte mobili su monorotaia. (Norman Foster and Partners, World Trade Center, Dogana, Repubblica di San Marino)

- la costituzione delle schermature avvolgibili (in forma “attiva”), che producono le sezioni d’ombra verso gli spazi interni paralleli mediante la collocazione planare (laddove la consistenza determina la formulazione opaca, oscurante o filtrante) e regolabile, composte da:
 - > i teli (di diversa composizione materiale, ad esempio, in forma tessile, plastica o metallica) azionabili tramite le guide in cavi o in stecche di acciaio, oppure tramite i profili montanti, con o senza cassonetto (8) (fig. 21);



21. Installazione esterna mobile: schermature avvolgibili.

Le schermature composte nella forma delle tende a caduta avvolgibili sono realizzate attraverso l'applicazione di un telo tessile per svolgimento dal rullo di supporto, prevedendo il bloccaggio in posizione di corsa rispetto alle guide laterali in cavo. (Renzo Piano Building Workshop, sede de Il Sole 24Ore, Milano)

- la costituzione delle tende solari (in forma “attiva”), composte da:
 - > le tende a caduta, caratterizzate dalla disposizione del telo avvolgibile con azionamento a gravità (con il fissaggio inferiore), dalla disposizione dei profili di guida laterale (con il fissaggio inferiore) oppure provviste dei bracci rotanti (con il traino e il mantenimento in tensione verso l'esterno) (fig. 22);



22. Installazione esterna mobile: tende solari.

Le schermature composte nella forma delle tende a caduta, secondo l'ausilio del telo avvolgibile a gravità con guida laterale, esaminano l'integrazione nei confronti dei moduli di facciata e dei relativi profili di intelaiatura e funzionamento. (sistema E2, produzione Schüco)

- > le tende a bracci, caratterizzate dai sostegni semplici, dai profili di sostegno a barre oppure dalla tipologia cassettonata (con il cassetto che raccoglie il telo avvolto per la protezione dalle intemperie);
- > le capottine, caratterizzate in forma fissa (con la struttura metallica diretta a tendere e a fissare il telo solare saldato in pannelli), in forma retrattile (con la struttura impacchettabile, ad ante di configurazione semicircolare o rettangolare) o in forma retrattile a proiezione maggiorata (per incrementare l'angolo verticale di proiezione dell'ombra);
- > le tende a veranda (in forma avvolgibile guidata, collocate al di sopra delle falde inclinate o verticali) o ad attico (in forma a falda inclinata, per la schermatura zenitale degli spazi aperti, dove il telo avvolgibile è posto in tensione dalla molla caricata entro il rullo e le guide laterali sostengono ed eseguono il bloccaggio).

3.2. L'installazione interna alle superfici finestrate

L'installazione interna provvede alla realizzazione di una prestazione solare ridotta rispetto alla superficie vetrata, comportando:

- le condizioni di agevole costruzione e gestione;
- l'efficacia nei confronti della radiazione solare diffusa, anche nel caso dell'esposizione prospettica a nord;
- la determinazione del *fattore solare g* variabile (in generale, compreso tra 0,40÷0,65), in funzione della costituzione materiale della schermatura e della superficie vetrata.

I dispositivi interni sono applicati per mezzo o senza l'apporto della struttura portante (in forma di telaio o per giunzioni lineari). L'articolazione tipologica osserva:

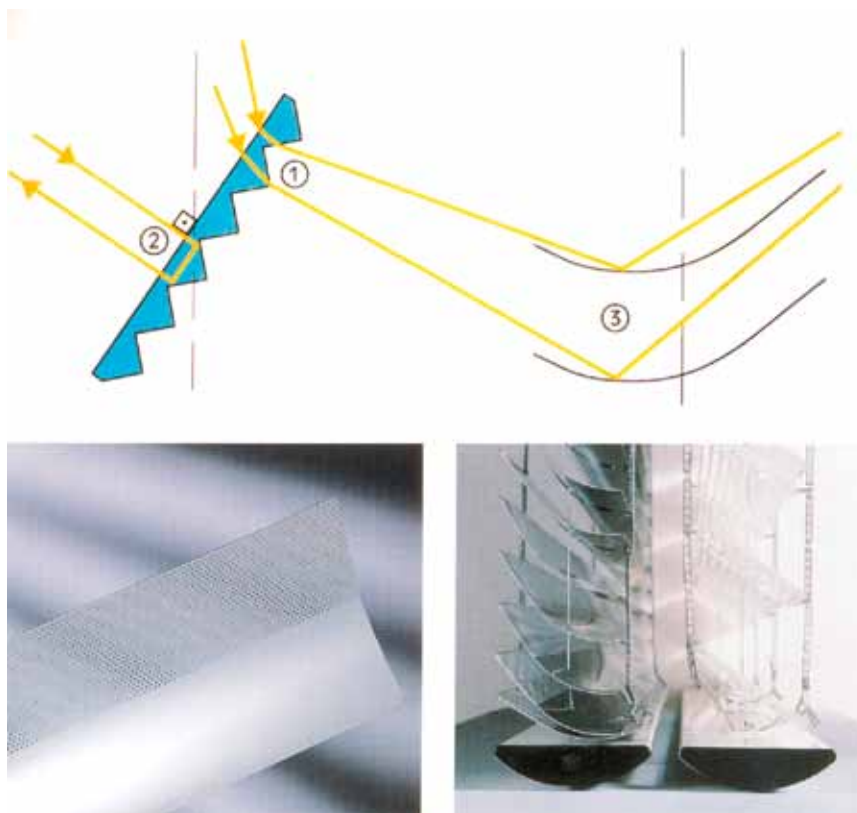
- la costituzione delle tende avvolgibili a "rullo" (in forma "attiva"), che producono le sezioni d'ombra verso gli spazi paralleli mediante la regolazione nello svolgimento del telo, composti da:
 - > i teli (in generale, in forma tessile o plastica) azionabili tramite le guide, con o senza cassonetto (9) (fig. 23);



23. Installazione interna mobile: tipologia "veneziana".

Le schermature eseguite attraverso l'impiego del telo tessile a caduta comprendono i meccanismi di sospensione, di avvolgimento e di guida, per la regolazione rivolta alla riduzione dei fenomeni di abbagliamento luminoso. (BDP - Building Design Partnership, centro commerciale Marks & Spencer, Manchester)

- la costituzione delle tende nella tipologia “veneziana” (in forma “attiva”), che producono le sezioni d’ombra secondo la rotazione diretta a controllare la radiazione solare rispetto a qualsiasi angolo solare α , composte da:
 - > gli elementi a lamelle (di diversa composizione materiale, ad esempio, in alluminio o altro metallo, legno, per l’ampiezza generale compresa tra 15÷50 mm) applicate in senso orizzontale e azionate in modalità meccaniche (manuali o motorizzate), con la possibilità di impacchettarsi nel cassonetto superiore (in cui alloggia il meccanismo di azionamento) (fig. 24);



24. Installazione interna mobile: tipologia “veneziana”.

L’esecuzione, stabilita in prossimità delle superfici trasparenti, considera i dispositivi orientati a riflettere i raggi solari diretti (1) e a trasmettere la luce naturale diffusa (2), mentre le lamelle orientabili, parzialmente perforate, dirigono la radiazione luminosa (3). (produzione Hüppe Form)

- la costituzione delle tende a caduta (in forma “attiva”), che producono le sezioni d’ombra unitamente alla riduzione dei fenomeni di abbagliamento luminoso, composte da:
 - > i teli (di diversa composizione fisica, ad esempio, trasparente, opaca, metallizzata e oscurante) caratterizzati dalla configurazione “plissettata” (ovvero, realizzata da pannelli di tessuto “plissettato” in pieghe regolari e costanti, di ampiezza pari a circa 20 mm), combinata (con l’adozione di un meccanismo capace di sospendere e di regolare due pannelli di tessuto diverso, ovvero alternati in forma trasparente e in forma opaca) e a “pacchetto” (ovvero, realizzata da un telo piano impacchettabile a balze regolari);
- la costituzione delle tende a bande verticali (in forma “attiva”), che producono le sezioni d’ombra nei modi eseguiti dalla tipologia delle schermature azimutali verticali, composte da:
 - > i teli (di diversa composizione materiale, ad esempio, in tessuto, metallo, legno o PVC) sottoposti alla regolazione angolare sull’asse verticale, secondo la sospensione definita dal binario corrente superiore.

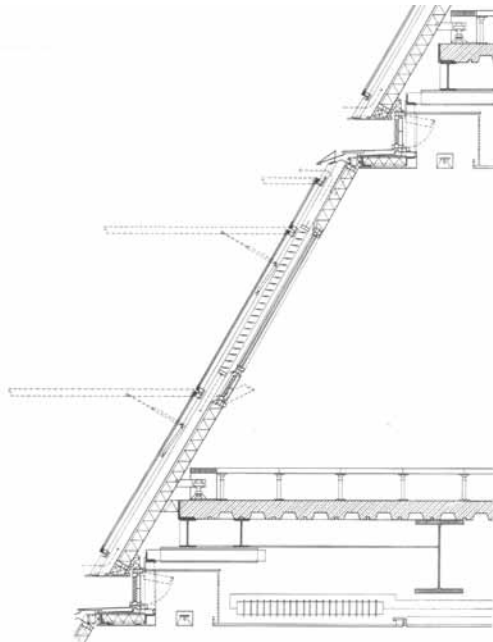
3.3. L'installazione integrata alle superfici finestrate

L'installazione integrata, all'interno dell'intercapedine delle chiusure in vetrocamera che provvede alla realizzazione di una prestazione solare intermedia nei confronti dell'installazione esterna e interna, comporta:

- le condizioni di agevole costruzione e gestione, in quanto l'applicazione è combinata alle chiusure in vetrocamera e i sistemi di azionamento e regolazione attualmente prodotti offrono elevate prestazioni;
- l'efficacia nei confronti della radiazione solare diretta e riflessa;
- il decremento funzionale nei confronti della radiazione solare diffusa (a causa della doppia riflessione azionata dall'inserimento tra le superfici vetrate);
- la determinazione del *fattore solare g* variabile (in generale, compreso tra $0,30 \div 0,45$), in funzione della costituzione materiale della schermatura e della superficie vetrata.

L'articolazione tipologica osserva:

- la costituzione delle tende a lamelle orientabili (in forma "attiva"), che producono le sezioni d'ombra secondo la rotazione diretta a controllare la radiazione solare rispetto a qualsiasi angolo solare α e che contribuiscono ad attenuare la dispersione termica delle superfici finestrate, composte da:
 - > gli elementi a lamelle (in generale, in alluminio, per l'ampiezza generale compresa tra $12,5 \div 16$ mm) applicate in senso orizzontale e azionate in modalità meccaniche (motorizzate, secondo la modalità a slitta magnetica, a rinvio magnetico ed elettrica) (figg. 25);



25. Installazione integrata (intercapedine vetrocamera): tipologia a lamelle.

Le schermature lamellari orientabili, rivolte a determinare sezioni d'ombra per mezzo della rotazione finalizzata al controllo dei raggi solari, partecipano all'incremento della trasmittanza termica e prevedono la regolazione motorizzata. (Norman Foster and Partners, Greater London City Hall, Londra)

- la costituzione degli schermi in tessuto o in reticolo (in forma "attiva" o "passiva"), composti da:
 - > i teli (in generale, di fattura tessile) azionati in modalità meccaniche (a caduta o motorizzate, con rullo avvolgibile miniaturizzato), i reticoli di costituzione plastica (fig. 26);



26. Installazione integrata (intercapedine vetrocamera): schermi in reticolo.

Le schermature in forma di griglia plastica incorporano un rivestimento in alluminio sulla superficie esterna per riflettere la radiazione incidente e una texture per ridurre la re-irradiazione, con il conseguente abbagliamento, negli spazi interni. (produzione Okalux Kapillarglas)

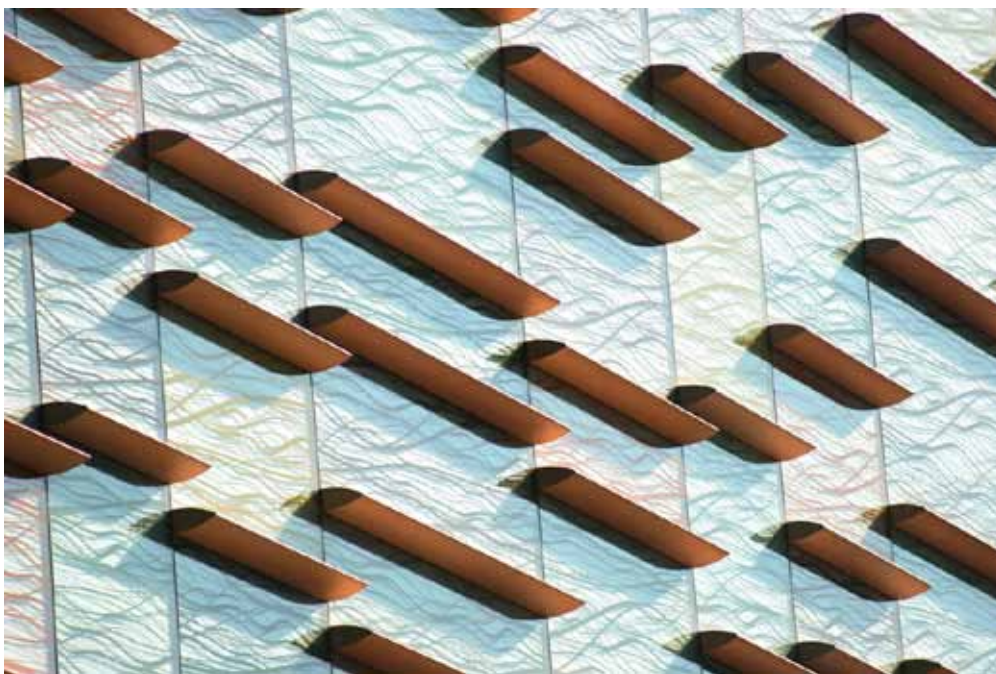
- la costituzione degli schermi a micro lamelle preorientate (in forma “passiva”), rivolti alla riflessione o alla diffusione della radiazione solare negli spazi interni nei confronti della specifica angolazione solare α (fig. 27);



27. Installazione integrata (intercapedine vetrocamera): schermi a micro lamelle.

Le schermature lamellari pre-orientate, incorporate nell'intercapedine delle lastre in vetrocamera (con vetri di tipo laminato o stratificato), attenuano sia la radiazione solare diretta, sia i fenomeni di contrasto visivo e di abbagliamento.

- la costituzione dei film filtranti applicati alle superfici vetrate (in forma “passiva”), rivolti alla riflessione o alla diffusione della radiazione solare negli spazi interni, composti da:
 - > le pellicole in poliestere o in mylar, sulle quali è depositato (sotto vuoto) uno strato di ossido di metallo (fig. 28).



28. Installazione integrata: film filtranti.

Le schermature applicate sulle superfici degli elementi di chiusura in vetro sono costituite da superfici trattate attraverso l'applicazione di composti ceramici e smaltati (in polvere di vetro, con l'aggiunta di additivi e di pigmenti colorati). (Irene Sabato - Polis Engineering, Ivo Pellegrini - DAGA Studio, sede Guna, Milano)

L'installazione integrata in facciata, all'interno dell'intercapedine tra la chiusura di tamponamento e la chiusura esterna nei componenti di involucro nella tipologia a “doppia parete”, che provvede alla realizzazione di una prestazione solare assimilabile all'installazione esterna, comporta:

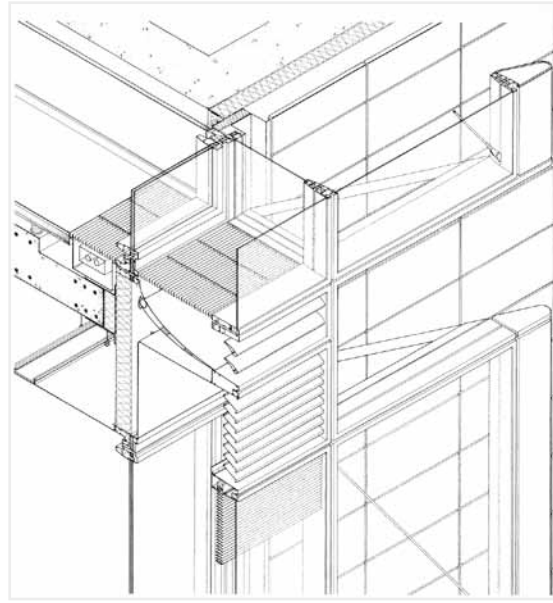
- le condizioni di agevole costruzione e gestione (considerando l'adozione per edifici a sviluppo in altezza), in quanto i dispositivi sono protetti dalle sollecitazioni eoliche e dalle condizioni climatiche esterne;
- la determinazione del *fattore solare g* assimilabile al caso dell'installazione esterna, variabile (in generale, compreso tra 0,10÷0,25) in funzione della costituzione materiale della schermatura e della superficie vetrata.

I dispositivi di schermatura solare (in forma regolabile), collocati all'interno dell'intercapedine, sono protetti dagli agenti atmosferici e inquinanti esterni: inoltre, tali dispositivi riducono l'apporto di calore in funzione delle condizioni esterne di temperatura e di irraggiamento solare, risultando particolarmente efficaci quando la temperatura esterna è inferiore alla temperatura degli spazi interni e per bassi valori di radiazione complessiva (figg. 29, 30).



29. Installazione integrata (facciata).

L'applicazione si delinea rispetto alla tipologia di chiusura verticale costituita dalla facciata continua interna in lastre vetrocamera, dall'intercapedine con dispositivi frangisole (realizzati da lamine di vetro) e dallo schermo esterno in lastre di vetro monolitico temperato. (Jim Clemes, Centre Royale Monterrey, Lussemburgo)



30. Installazione integrata (facciata).

L'inserimento nella "doppia parete" comporta il funzionamento durante il periodo invernale, rispetto alla distribuzione del calore accumulato dalla massa d'aria nell'intercapedine, e durante il periodo estivo, con l'attenuazione del surriscaldamento negli spazi interni. (Norman Foster and Partners con RKW - Rhode, Kellermann, Wawrowsky, torre Arag, Düsseldorf)

3.4. L'installazione combinata ai moduli fotovoltaici

L'applicazione delle schermature si propone quale ambito di impiego dei dispositivi solari attivi, sia per il contributo prestazionale alle condizioni energetiche, sia per l'apporto espressivo verso l'utilizzo di fonti alternative e sostenibili. A tale proposito, si rileva l'esecuzione dei moduli fotovoltaici (PV, *photovoltaic*) rivolti a convertire la radiazione solare in energia elettrica, garantendo simultaneamente la schermatura alla luce naturale: i dispositivi di calibrazione luminosa si affermano quali strumenti di mediazione tra le condizioni climatiche variabili e quelle relativamente costanti negli spazi interni, filtrando e intervenendo sui flussi energetici, fino ad accumularli per ottenere energia elettrica.

Il funzionamento prevede la conversione diretta della radiazione solare in energia elettrica mediante l'impiego delle celle fotovoltaiche (generalmente, in silicio), che realizzano il fenomeno fisico dell'interazione tra la radiazione luminosa e gli elettroni di valenza nei materiali semiconduttori.

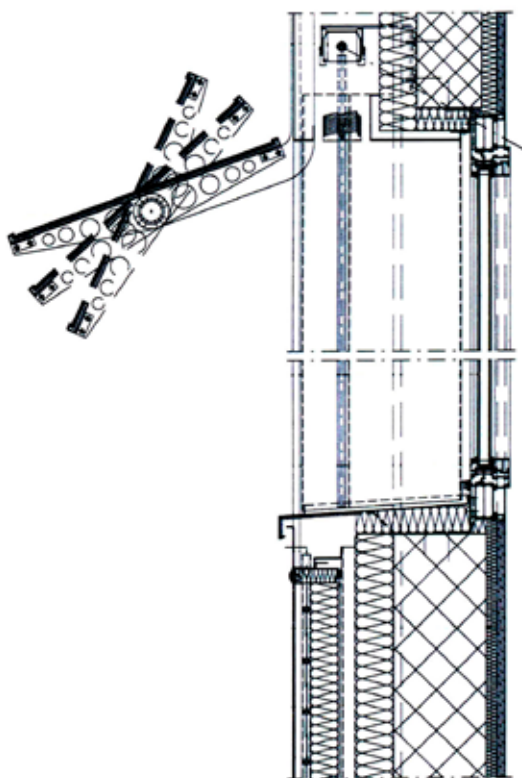
Le celle fotovoltaiche applicabili sono composte secondo:

- la tipologia monocristallina, per cui il silicio a cristallo singolo è ottenuto mediante un processo di *melting*, sulla base dei cristalli puri di silicio che, in seguito alla fusione, si solidificano a contatto con un seme di cristallo: durante il raffreddamento, il silicio si trasforma in un lingotto cilindrico monocristallo, poi tagliato con seghe a filo. Le celle risultanti sono opache, con una colorazione variabile dal blu e dal grigio fino al nero (questa derivante dal rivestimento antiriflettente in ossido di titanio, finalizzato a ottimizzare la captazione della radiazione solare);
- la tipologia policristallina, per cui i cristalli di silicio sono aggregati tra loro con forme e orientamenti diversi. Le celle risultanti sono definite da una colorazione blu opaca.

Le celle fotovoltaiche cristalline sono prodotte in piccoli dischi (di forma generalmente quadrata, $sp. = 0,4 \text{ mm}$), montati in moduli disposti su lastre di vetro laminato (mediante l'interposizione di strati resinosi trasparenti) e collegati da conduttori finalizzati ad assorbire e a trasferire l'energia elettrica prodotta. I moduli sono trasparenti, traslucidi o opachi, secondo la configurazione connettiva (che comporta una trasmissione luminosa variabile rispetto alla distanza tra le celle). Inoltre, le celle fotovoltaiche sono realizzate da:

- i film sottili (relativi alle *thin-film technologies*), per la realizzazione delle celle solari di tipo amorfo: in questo caso, il semiconduttore è depositato su strati applicabili a vari supporti in vetro (mediante il deposito catodico del silicio), plastici o in lastre di alluminio, prevedendo la connessione per cablaggio;
- le celle amorse semitrasparenti, prodotte per rimozione di aree parziali di un film sottile, secondo strisce trasparenti che permettono il passaggio della radiazione luminosa incidente (pari al 12 %).

L'esecuzione dei moduli fotovoltaici (aggregati in composti sandwich) avviene in forma *frameless* o con una cornice in profili di alluminio, e sono impiegati singolarmente o collegati (in serie e/o in parallelo) per realizzare "stringhe" (quali insiemi di moduli connessi in serie) e "campi fotovoltaici" (stabiliti dai moduli e dalle connessioni riferite a un singolo impianto). La loro applicazione rispetto all'involucro segue criteri di assemblaggio indipendente, se la disposizione non ha funzione di chiusura e non è condizionata dalla costituzione morfologica, o per sovrapposizione, con l'utilizzo di strutture contigue alle chiusure verticali (fig. 31).



La costruzione assume la compatibilità sia con l'involucro edilizio (e, quindi, con le relative strutture di fissaggio dei pannelli), sia con le condizioni di orientamento (per cui si predilige l'affaccio a sud, prevedendo perdite limitate negli affacci a est e ovest), mediante l'inclinazione precisata dalla località geografica. L'impiego dei *brise-soleil fotovoltaici* permette di calibrare (mediante i *pattern* delle celle) e di assorbire la radiazione luminosa: la distanza tra le celle di una stringa è variabile (tra $2 \div 10 \text{ mm}$), così come la distanza tra le stringhe stesse, che possono addensarsi o distanziarsi secondo le esigenze di visibilità e di schermatura. Anche per i moduli prodotti in silicio amorfo si eseguono aree parzialmente trasparenti, con l'inclusione di settori inattivi nella deposizione del film.

I pannelli prevedono la realizzazione:

- per i moduli in silicio cristallino (mono o policristallino), dei laminati in vetro-vetro o vetro-tedlar;
- per i moduli in silicio amorfo, di lastre stratificate in fogli flessibili composti da materiale plastico.

L'applicazione integrata come dispositivi di calibrazione luminosa, per elementi liberi oltre il piano di facciata, consente un rendimento efficace delle celle fotovoltaiche, in quanto esso è

31. Combinazione con moduli fotovoltaici.

Le schermature solari dotate delle celle fotovoltaiche prevedono l'assemblaggio mediante i profili a mensola in alluminio, su perni regolabili secondo l'inclinazione dei raggi solari. (produzione Schweizer)

direttamente proporzionale alla capacità dispersiva del calore. Inoltre, nei *brise-soleil fotovoltaici* si considera il contributo agli apparati di conduzione energetica, inseribili nei passaggi e negli alloggiamenti collocati lungo le cornici, nei profili di raccordo e nei montanti metallici (fig. 32).

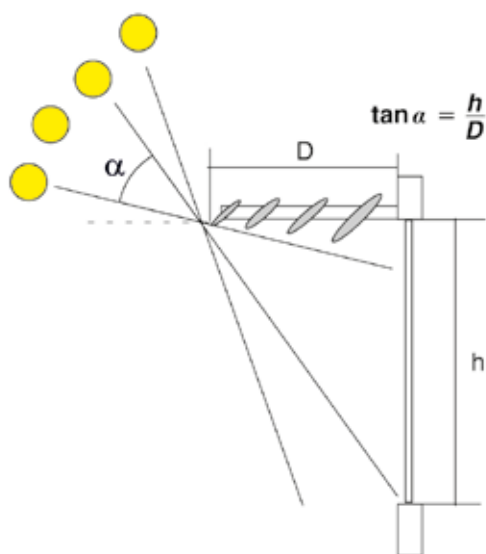


32. Combinazione con moduli fotovoltaici.

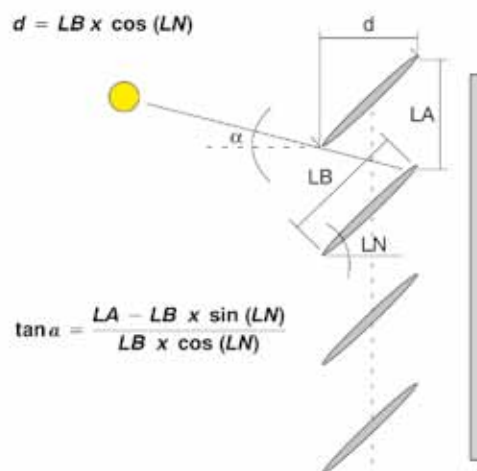
I dispositivi di calibrazione luminosa sono dotati di celle fotovoltaiche cristalline in silicio, che convertono la radiazione solare in energia elettrica, garantendo la schermatura alla luce naturale. (produzione Schweizer)

3.5. La calibrazione esecutiva e la regolazione funzionale

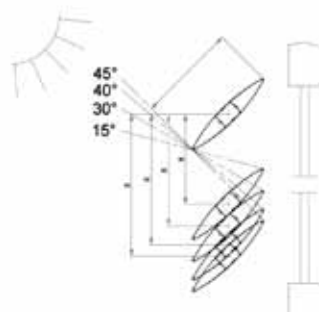
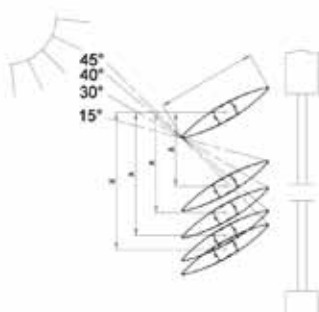
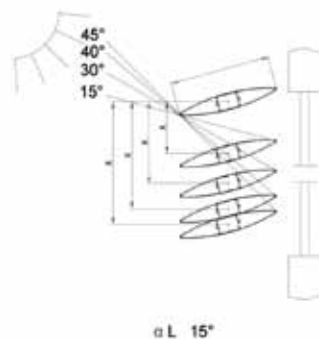
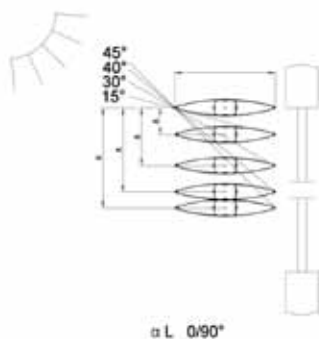
Le procedure funzionali ed esecutive inerenti alle schermature solari sono definite attraverso la rilevazione dei principali parametri relativi all'assemblaggio al piano di facciata, secondo l'estensione delle mensole di supporto, l'altezza della superficie trasparente della finestratura e l'angolo critico di incidenza solare (fig. 33). I dispositivi sono applicati sulla base della correlazione analitica tra l'incidenza della radiazione solare diretta, le condizioni luminose durante l'inverno, la quota proiettiva orizzontale, la distanza, l'ampiezza e l'angolazione delle lamelle (fig. 34). In generale, la costruzione planare alle finestrature si determina mediante l'angolazione delle lamelle rispetto all'asse verticale e secondo la distanza tra gli assi delle lamelle stesse, in funzione dell'angolo critico di incidenza solare (fig. 35).



33. Calibrazione esecutiva e regolazione funzionale.
L'esecuzione comporta la rilevazione dei principali parametri quali l'estensione delle mensole di supporto (D), l'altezza della superficie trasparente di facciata (h), l'angolo critico di incidenza solare, che determina l'altezza alla quale l'irraggiamento solare dirige l'illuminazione attraverso la superficie trasparente (α).

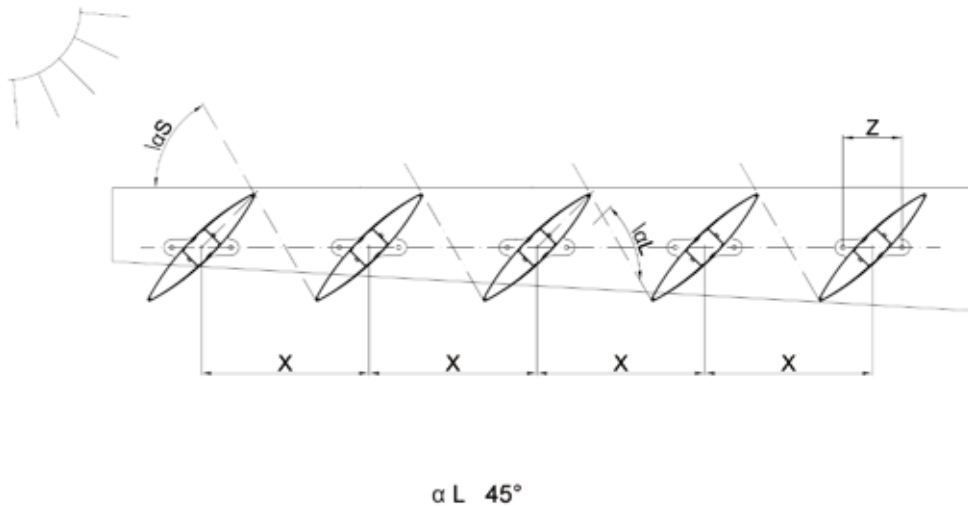


34. Calibrazione esecutiva e regolazione funzionale.
Le schermature solari sono applicate secondo l'incidenza della radiazione solare diretta, le condizioni luminose durante l'inverno, la quota proiettiva orizzontale delle lamelle (d), la di-stanza tra le lamelle (LA), l'ampiezza delle lamelle (LB), l'angolazione delle lamelle (LN) e l'angolo critico di incidenza solare (α).



35. Calibrazione esecutiva e regolazione funzionale.
La costruzione considera l'angolazione delle lamelle (αL) rispetto all'asse verticale e la distanza di esecuzione (X) tra gli assi delle lamelle in funzione dell'angolo critico di incidenza solare.

L'applicazione normale alle finestre si basa sulla disposizione delle lamelle rispetto sia all'angolo critico di incidenza solare, sia all'angolazione delle lamelle nei confronti dell'asse verticale e della distanza di esecuzione tra gli assi delle lamelle: questo rilevando le condizioni di orientamento orizzontale o verticale, fisso o mobile, secondo la produzione dei profili (fig. 36).



36. Calibrazione esecutiva e regolazione funzionale.

La costruzione esamina l'applicazione delle lamelle rispetto all'angolo critico di incidenza solare (α_S), l'angolazione stabilita dalle lamelle rispetto all'asse verticale (α_L) e dalla distanza di esecuzione (X) tra gli assi delle lamelle per l'angolo critico di incidenza solare (α_S).

4. L'analisi delle condizioni attuative e regolamentari

4.1. Le procedure relative alla legislazione energetica

L'applicazione delle schermature solari rispetto ai serramenti e ai sistemi di facciata si determina all'interno delle procedure funzionali multistrato, caratterizzate da:

- la gestione della luminosità interna attraverso la modulazione dei dispositivi di controllo nei confronti della radiazione solare;
- la stratificazione rispetto alle specifiche necessità di trasparenza, di diffusione e di riflessione della radiazione luminosa.

L'apporto nei confronti delle condizioni di comfort negli spazi interni, del contenimento dei consumi energetici e della riduzione delle emissioni inquinanti (come nel caso dei gas serra) si correla ai contenuti e alle modalità stabilite dall'Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento

energetico in edilizia (con Decreto del Consiglio dei Ministri del 6 ottobre 2006), ovvero attraverso:

- la formulazione del Decreto Legislativo n. 192 del 19 agosto 2005 (*Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia*) e, successivamente, del Decreto Legislativo n. 311 del 29 dicembre 2006 (*Disposizioni correttive ed integrative al decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, recante attuazione della direttiva 2002/91/CE, relativa al rendimento energetico nell'edilizia*), sanciscono la costituzione dell'involucro edilizio quale sistema di principale risoluzione verso:
 - > le necessità di riscaldamento, di condizionamento e di illuminazione naturale;
 - > le prospettive di un approccio integrato nella elaborazione progettuale, funzionale ed esecutiva dell'edificio, delle dotazioni impiantistiche, delle chiusure e dei dispositivi esterni;
- la definizione dei sistemi di chiusura verticale perimetrale e dei dispositivi funzionali aggregati in forma strumentale di mediazione tra le condizioni ambientali esterne e gli aspetti ergonomici degli spazi interni, secondo specifiche reazioni prestazionali.

Il Decreto Legislativo n. 192/2005 e il Decreto Legislativo n. 311/2006 hanno lo scopo di “stabilire i criteri, le condizioni e le modalità per migliorare le prestazioni energetiche degli edifici al fine di favorire lo sviluppo, la valorizzazione e l'integrazione delle fonti rinnovabili e la diversificazione energetica, di contribuire a conseguire gli obiettivi nazionali di limitazione delle emissioni di gas ad effetto serra posti dal protocollo di Kyoto”. Questo, quale risposta del Ministero dello Sviluppo Economico all'allarme lanciato dal *Libro Verde* dell'Unione Europea (e divenuto strumento di programmazione mediante la Direttiva Europea 2002/91/CE, secondo la delega ricevuta dal Governo in base alla Legge n. 306 del 31 ottobre 2003).

La definizione e l'operatività in merito alle schermature solari, come trattato all'interno del Decreto Legislativo n. 311/2006, si precisa rispetto a:

- la configurazione delle «schermature solari esterne: sistemi che, applicati all'esterno di una superficie vetrata trasparente permettono una modulazione variabile e controllata dei parametri energetici e ottico luminosi in risposta alle sollecitazioni solari» (Allegato A, comma 35);
- la valutazione e la documentazione, da parte del progettista, intorno all'efficacia dei dispositivi eseguiti (all'esterno o all'interno, di tipologia fissa o mobile) nei confronti delle superfici vetrate in accordo alla capacità di ridurre l'apporto di calore per irraggiamento solare;
- l'obbligo di esecuzione dei dispositivi eseguiti all'esterno nei confronti delle superfici vetrate, per tutte le categorie di edifici e per gli immobili di superficie superiore a 1.000 m², al fine di limitare il fabbisogno energetico per la climatizzazione estiva e di contenere la temperatura interna degli ambienti (nel caso di interventi di nuova costruzione o di ristrutturazione; Allegato I).

Pertanto, le schermature solari rientrano tra le dotazioni che concretano l'involucro edilizio in modo “ecoefficiente”, quale “filtro” selettivo e polivalente, in base all'esigenza di stabilire le condizioni di equilibrio tra requisiti contrastanti, come:

- la necessità di garantire un apporto energetico positivo durante il periodo invernale, riducendo le dispersioni e provvedendo all'accumulo termico mediante la trasformazione della radiazione solare in calore (secondo fenomeni di inerzia termica);
- la necessità di ridurre il rischio di surriscaldamento durante il periodo estivo;
- la necessità di garantire un adeguato livello di illuminazione naturale (secondo criteri di riflessione, di assorbimento e di diffusione) in modo da ridurre i consumi energetici;
- la necessità di controllare la componente di trasmissione totale dell'irraggiamento solare, senza penalizzare la componente di trasmissione nel campo visivo.

4.2. Le procedure relative alla detrazione fiscale

L'inserimento attuativo di un emendamento al D.L. n. 63/2013 (che recepisce la Direttiva 2010/31/UE sulle prestazioni energetiche in edilizia) comporta l'estensione delle procedure di detrazione fiscale al 65%, per gli interventi di riqualificazione energetica, anche verso le schermature solari. La tipologia di schermature solari che possono essere effettivamente considerate ai fini della detrazione fiscale (prorogata fino al 31 dicembre 2015) consegue ad alcuni requisiti funzionali (emersi attraverso i riferimenti normativi richiamati dai decreti sulla certificazione energetica e dalla Legge n. 190 del 23 dicembre 2014, definita come "Legge di Stabilità 2015"), sulla base dell'"Allegato M" al Decreto Legislativo n. 311 del 29 dicembre 2006 (per spese sostenute dall'1 gennaio 2015 al 31 dicembre 2015, fino a un valore massimo della detrazione pari a 60.000 Euro, corrispondente a una fornitura massima pari a 92.000 Euro, con posa compresa). La fruizione dei criteri relativi alla detrazione fiscale per l'applicazione delle schermature solari riguarda, in generale, i contribuenti, residenti e non residenti, anche se titolari di reddito d'impresa, che possiedono a qualsiasi titolo l'immobile oggetto dell'intervento come, ad esempio:

- le persone fisiche, compresi gli esercenti arti e professioni;
- i titolari di diritto reale sull'immobile;
- i condomini, per gli interventi sulle parti comuni condominiali;
- gli inquilini;
- i fruitori dell'immobile in comodato;
- i contribuenti che conseguono reddito d'impresa;
- le associazioni tra professionisti;
- gli enti pubblici e privati che non svolgono attività commerciale.

I requisiti funzionali delle schermature solari, ai fini della detrazione fiscale, sono esaminati dall'Enea sulla base di alcune Norme dell'Ente Nazionale Italiano di Unificazione relative al calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici (UNI/TS 113001 e UNI EN ISO 13790), rilevando le tipologie caratterizzate da:

- la protezione di una superficie vetrata;
- l'applicazione in modo solidale con l'involucro edilizio e non liberamente montabili e smontabili dall'utente;
- l'applicazione, rispetto alla superficie vetrata, all'interno, all'esterno o integrate;
- la combinazione con vetrate o autonome (aggettanti);
- la possibilità di regolazione;
- la configurazione nella forma di schermature "tecniche";
- la disposizione valida per tutti gli orientamenti nel caso delle chiusure oscuranti (persiane, veneziane, tapparelle);
- la disposizione, per le schermature non in combinazione con le superfici vetrate, che esclude l'impiego con orientamento nord;
- il possesso della Marcatura CE (se prevista).

I requisiti funzionali delle schermature solari, ai fini della detrazione fiscale, sono esaminati, ad esempio, rispetto a:

- la Norma UNI EN 13659:2004, riferita ai requisiti prestazionali delle chiusure oscuranti (quali le veneziane esterne in alluminio, i frangisole, le chiusure oscuranti, le persiane, gli scuri, le tapparelle);
- la Norma UNI EN 13561:2009, riferita ai requisiti prestazionali delle tende esterne (quali le tende da sole, le tende per lucernari, le tende per serre, le tende a bracci, le tende per facciate, le

tende da facciata a rullo, le tende a veranda, le tende a pergola, le capottine, le zanzariere e le tende anti-insetto, gli schermi solari mobili).

Ancora, le tipologie di schermatura devono afferire alla classe individuata tramite il parametro costituito dal *fattore solare* g_{tot} (in accordo alla Norma UNI EN 14501:2006), secondo:

- Classe 0 = $g_{tot} > 0,50$;
- Classe 1 = $0,35 < g_{tot} < 0,50$;
- Classe 2 = $0,15 < g_{tot} < 0,35$;
- Classe 3 = $0,10 < g_{tot} < 0,15$;
- Classe 4 = $g_{tot} < 0,10$.

Note

1. L'elaborazione delle schermature solari assume i principi e le linee guida dirette alla riduzione dei fabbisogni di energia primaria negli edifici (pari ad almeno il 20% nel 2020, secondo la "Risoluzione" della Commissione Europea del 23 gennaio 2008), in accordo alla revisione della Direttiva Europea 91/2002 (EPBD, *Energy Performance of Buildings Directive*) recepita in Italia con il D. Lgs. n. 192/2005.

2. Le schermature solari assumono un ruolo essenziale nel bilancio energetico degli apporti di calore: «in estate la loro presenza in facciata preclude a un guadagno passivo solare eccessivo, riducendo l'apporto naturale al surriscaldamento dovuto all'irraggiamento solare, mentre in inverno possono regolare il flusso energetico entrante grazie alla capacità di filtrare o modulare la radiazione solare contribuendo a riscaldare l'ambiente» (Brivio, 2010, p. 165).

3. La *trasmissione termica* U esprime la quantità di energia termica trasmessa in un secondo attraverso la superficie di un metroquadrato del materiale costituente un elemento tecnico, quando sussiste la differenza di temperatura pari a 1 °C o a 1 K. A livello operativo, quanto minore risulta il valore di *trasmissione termica* di un elemento tecnico o di un materiale, tanto maggiore risulta la sua capacità termoisolante. La *trasmissione termica* è espressa, in generale, in W/m².K e, meno frequentemente, in kcal/h.m².°C.

4. Il *fattore di trasmissione luminosa* (denominato anche come *coefficiente di trasmissione luminosa* o *trasmissione ottica*), espresso con $L(t_v)$, (t_{vL}) e anche con la lettera τ , indica l'attitudine a trasmettere la radiazione solare luminosa, definendo la quantità (anche in percentuale) della radiazione visibile trasmessa direttamente (nel campo spettrale luminoso di *lunghezza d'onda* $\lambda = 380 \div 780$ nm, in relazione alla sensibilità dell'occhio umano). Secondo il tipo di radiazione si presenta un tipo di *trasmissione ottica diffusa* λ_{diff} e un tipo di *trasmissione ottica diretta* λ_{dir} .

5. Il *fattore solare*, o *coefficiente di trasmissione solare* (g-value, in ambito internazionale), è composto dalla trasmissione energetica diretta e dallo scambio per adduzione dell'energia assorbita nel vetro sotto forma di radiazione e di convezione termica (nel campo spettrale luminoso di *lunghezza d'onda* $\lambda = 300 \div 2.500$ nm).

6. Il *fattore di luce diurna* (*Daylight Factor*) determina la valutazione della qualità luminosa, definito dal rapporto tra l'illuminazione interna e l'illuminazione esterna (nella situazione di "cielo coperto"), in valore percentuale:

$$DF = 100 \frac{E_{int}}{E_{ext}}$$

dove:

E_{int} = illuminazione interna istantanea (rilevata per un punto dello spazio interno). Questo valore può essere stabilito dalla somma della illuminazione diretta dalla superficie finestrata con cielo visibile rispetto al punto fissato (E_D), della illuminazione dovuta alla riflessione dall'ambiente esterno (E_R) e della illuminazione dovuta alla riflessione dalle superfici interne (E_{IR});

E_{est} = illuminazione esterna zenitale (rilevata nella situazione di "cielo coperto").

7. Il *fattore di apertura (Openess Factor)* è riferito specialmente nei confronti della composizione funzionale dei teli tessili filtranti applicati come schermature solari, per cui risulta essenziale rilevare l'apertura della trama: pertanto, la quantità percentuale di aria tra la trama e l'ordito consiste nel *fattore di apertura* che agisce sulla trasparenza complessiva del telo.

8. I tessuti adottati per le schermature solari esterne sono definiti rispetto alla resistenza meccanica e all'azione degli agenti climatici, alla resistenza alla radiazione ultravioletta, alla impermeabilità all'acqua e all'aria, al peso proprio (espresso in g/m^2), al *fattore di trasmissione luminosa* τ e al *fattore solare* g , al *fattore di apertura (Openess Factor)*. I tessuti sono precisati secondo la costituzione, aperta o chiusa, il senso dell'orditura, la composizione (in monofilato o in valore percentuale tra i filati impiegati). Nello specifico, «in applicazioni per esterno viste le qualità indicate i principali tessuti utilizzati sono:

- tessuti filtranti o *screen*, lavorati su filato in fibra di vetro rivestito in PVC, tra le costruzioni di trama più note si ricordano il sergè, il nattè, il basket e il panama;
- tessuti opachi, ottenuti per spalmatura su ordito filtrante, per chiudere lo spazio tra i nodi della trama;
- tessuti in base poli-acrilico e poliestere, utilizzati nella confezione delle tende da sole, dove per ragioni decorative si hanno a disposizione molti disegni e colori;
- fogli in PVC opaco, usati anche nella telo natura dei mezzi di trasporto, vengono impiegati per applicazioni dove serve impermeabilità del telo, come pergole e capottine;
- tessuti in base PVA-PES (polivinil alcol-poliestere) realizzati su un'orditura in poliestere termo fissata e spalmata con fogli di polivinile, sono molto resistenti e impermeabili e usati nella confezione di tende da sole, pergole e capottine;
- tessuti pre-contraint con PVC, realizzati da orditura in poliestere pre-tesa e spalmata con fogli di PVC per fissare e proteggere la trama in filato, sono molto resistenti alla trazione e usati per tutte le applicazioni di telo teso e trainato;
- filanti pre-contraint, sono costruiti con orditura in filato di poliestere rivestito da PVC, dopo la tessitura vengono pre-tesi e termofissati per bloccare le maglie in posizione, sono tessili filtranti in varie tipologie e pesi molto resistenti e adatti ad applicazione di tende con telo teso e trainato» (Brivio, 2010, p. 181).

9. I tessuti adottati per le schermature solari interne, rivolti a ridurre la trasmissione solare delle superfici finestate specialmente nello spettro luminoso, sono definiti rispetto al peso proprio (espresso in g/m^2), al *fattore di trasmissione luminosa* τ e al *fattore solare* g , al *fattore di apertura (Openess Factor)* e alla classe di reazione al fuoco. I tessuti sono precisati secondo la costituzione, aperta o chiusa, il senso dell'orditura, la composizione (in monofilato o in valore percentuale tra i filati impiegati). Nello specifico, le principali tipologie per gli spazi interni «si possono classificare di seguito:

- tessuti filtranti leggeri, costruiti in filato di fibra di vetro rivestita di PVC, sono realizzati con fattori di apertura molto chiusi $1 \div 3 \div 5\%$ e sono impiegati in applicazione su meccanica avvolgibile;
- tessuti filtranti ecologici [...], sono costruiti a partire da catene in filato di poliestere rinforzato, tessuto e annodato in trama molto chiusa con fattori di apertura inferiori al 5%, sono interamente riciclabili e idonei ad applicazioni su meccanica avvolgibile;
- tessuti attenuanti, con peso proporzionale all'opacità, sono costruiti su trama chiusa e da filati in poliestere o misti, anche ignifughi, si prestano a finissaggi diversi per impieghi su avvolgibile, in

banda verticale o plissettati;

- tessuti oscuranti, si realizzano in due modalità diverse per spalmatura di coprenti su base in poliestere, oppure per accoppiatura di strati di materiale opaco, sono utilizzabili su avvolgibili, bande verticali e plissettate;
- tessuti metallizzati, idonei a riflettere una porzione maggiore di radiazione sono realizzati applicando uno strato metallico su una faccia del tessuto costruito su base in poliestere, sono utilizzabili su avvolgibili, bande verticali e plissettate;
- tessuti cellulari, per applicazioni su meccaniche a caduta» (Brivio, 2010, p. 181).

Riferimenti bibliografici

Altomonte Sergio,

(2004), *L'involucro architettonico come interfaccia dinamica. Strumenti e criteri per una architettura sostenibile*, Alinea, Firenze.

Brivio Sergio Fabio,

(2010), *Schermature solari e tende tecniche. Metodi e soluzioni di progetto, tipologie, risparmio energetico*, Il Sole 24Ore, Milano.

Ceccherini Nelli Lucia, D'Audino Eugenio, Trombadore Antonella,

(2007), *Schermature solari*, Alinea, Firenze.

Ente Nazionale Italiano di Unificazione,

(1994), Norma UNI EN 10349, *Riscaldamento e raffrescamento degli edifici. Dati climatici*.

(2004), Norma UNI EN 13659, *Chiusure oscuranti. Requisiti prestazionali compresa la sicurezza*.

(2006), Norma UNI EN 14501, *Tende e chiusure oscuranti. Benessere termico e visivo. Caratteristiche prestazionali e classificazione*.

(2009), Norma UNI EN 13561, *Tende esterne. Requisiti prestazionali compresa la sicurezza*.

(2011), Norma UNI EN 12464/1, *Luce e illuminazione. Illuminazione dei posti di lavoro. Parte 1: Posti di lavoro in interni*.

Mottura Giovanna, Pennisi Alessandra,

(2014), *Serramenti e schermature solari*, Maggioli, Santarcangelo di Romagna (RN).

Nastri Massimiliano,

(2003), *Involucro e controllo dei fattori ambientali*, in Giuliano Dall'Ò, a cura di, *Gli impianti nell'architettura e nel restauro*, Utet, Torino, pp. 21-45.

(2008), *Involucro e architettura*, Maggioli, Santarcangelo di Romagna (RN).

(2008), *I sistemi di facciata*, in Renato Suzzani, a cura di, *Manuale del serramentista in alluminio*, Tecniche Nuove, Milano, pp. 47-99.

Schittich Christian,

(2001), *Building Skins*, Birkhäuser, Basilea-Boston-Berlino (tr. it. di Rossella L. Mombelli, *Involucri edilizi*, Birkhäuser, Basilea-Boston-Berlino, 2003).

Tatano Valeria, Rossetti Massimo,

(2012), *Schermature solari: evoluzione, progettazione e soluzioni tecniche*, Maggioli, Santarcangelo di Romagna (RN).

Torricelli Maria Chiara, Sala Marco, Secchi Simone,

(1995), *Daylight. La luce del giorno. Tecnologie e strumenti per la progettazione*, Alinea, Firenze.